

新しい低天端型護岸の開発

Development of New Seawalls of Low Crest Types

高山知司・池田直太・立石義博・藤井 久

Tomotsuka, Takayama, Naota, Ikeda, Yoshihiro, Tateishi and Hisashi Fujii

Classified three types of seawalls, which are effective to decrease wave over-topping even with their lower crown heights, are newly developed. One type is with steps on the front face, second one is with a chamber behind slits on the front face and third one is with wide plane area between front and rear steps. The effect of these on the decrease of wave over-topping is verified by experiments.

Key words: wave over-topping, coastal structure, accessible seawall

1. はじめに

海岸に護岸や堤防を築く主な目的は、台風や冬季の季節風によって発生した高波による災害を防ぐことである。単に防災という観点に立てば、天端の高い護岸ほど安全で好ましいということになる。しかし近年では、海岸空間の利用が高度化してきており、海岸の利用という観点も重要になりつつある。そして、この観点に立てば、護岸の天端は低いほどよいことになる。

例えば、図-1 (a) に示すような養浜した海岸に天端の高い護岸を建設すると、砂浜に入る人の通行の妨げになり、養浜した人工海浜の意義が低下する。また、図-1 (b) に示すような景色のよい海岸では、人の視線の高さよりも護岸の天端が高いと人が景色を楽しむことができなくなる。図-1 (c) は、愛知県のある海岸を例にとったものである。この海岸は、過去に高潮による災害を受けているために、護岸の設計潮位が非常に高くなっている。海浜の設計は高潮位を基準にして行われるので、この海岸の護岸の設計潮位は前面の海岸の後浜の高さよりも高くなる。従って、後浜の高さから見た護岸の天端高は、非常に高いものとなり、護岸が人の通行の妨げになるとともに景観を損なうことになる。また、図-1 (d) に示すような空港周囲の護岸では、滑走路周囲の照明設備などを守るために越波量を小さくすることと、航空機の離着陸の妨げにならないように天端を低くすることの2つが同時に求められることが多い。

以上のように、今後の護岸の建設にあたっては、いかにして防災施設としての安全を確保しつつ天端を下げるかということが重要な課題になってくる。既往の研究によると、傾斜護岸の斜面に粗度をつけたり、護岸に遊水部を設けたり、護岸前面と汀線の間に広い空間を設けることによって越波流量が低減することが報告されている(石原ら(1957)、高田(1967)、服部・佐藤(1973))。そこで、本研究では、これらの研究を参考にして汀線付近に建設することを想定した新しい護岸構造を考案し、それらによる越波流量低減効果を模型実験によって調べた。本小文は、実験結果をもとに護岸の越波流量低減効果と護岸の斜面につけた粗度や護岸の遊水部の体積、護岸前面に設けた水平部分の幅との関係について考察したものである。

2. 新防護護岸の考案

本研究で考案した護岸の構造を図-2 (a) ~ (g) に示す。この中で複断面護岸と菱形階段護岸は、傾斜護岸の斜面に粗度をつけたものである。また、水平スリット護岸とパラベット水平階段護岸、サイドステップ護岸、うずまき護岸は護岸に遊水部を設けたもので、広天端幅護岸は護岸の前面に広い空間を設けたものである。本章では、これらの護岸の形状の概要について述べる。なお、模型の詳細な寸法諸元については、別の文献(高山ら(1991))に記述するので、本文では省略する。

複断面護岸は、斜面の法面上に鉛直なパラベットを設け、パラベットの天端と天端を階段で結んだものである。法面上のパラベットの高さについては、高くしたほうが粗度が大きくなって越波流量低減効果が大きくなること

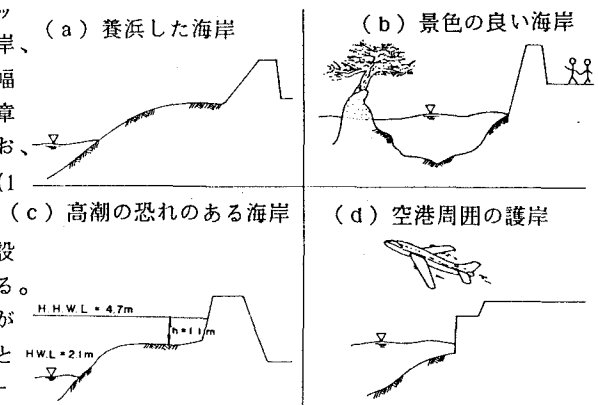


図-1 護岸の天端を下げる価値の大きな事例

・工博 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室長
 ... 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室(239 横須賀市長瀬3-1-1)
 ... 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所調査課水工係
 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室

が期待できるが、人の利用の観点からは危険となるので、この高さは1.0mとした。また、階段部分の幅は利用上からも、越波流量低減効果の上からも重要なパラメーターになることが予想されるが、本研究ではこれを3mと一定にして実験した。

菱形階段護岸は菱形の板を階段状に敷き詰めたもので、菱形の板によって波を「く」の字型に蛇行して遡上させることを狙っている。また、人が海に向かうときには斜面を斜めに降りてゆくことになる。但し、菱形の角から角に過って降りてしまう人がいることも予想されるため、階段1段の高さを高くしたり、菱形階段の水平部分の面積を小さくすると危険である。そこで、階段1段の高さを25cm、水平部分の菱形の1辺の長さを約1mとした。

水平スリット護岸は、階段護岸の階段の下を中空の遊水部とし、遊水部の中に設けた控え壁によって踏板が支持されるような構造になっており、踏板と踏板の隙間から水が遊水部に流出入できる。人の通行についての利便や安全、材料の耐久性などを総合的に判断して、階段の厚さを20cm、階段1段の高さを25cm、スリットの隙間の厚さを5cm、階段の水平部分の幅を75cmとした。

パラペット水平階段護岸は、階段と斜面を組み合わせた水平なパラペットを1ブロックずつ段々に積み重ねてその下を遊水部としたものである。細部の諸元については、水平スリット護岸と同様に考えて、水平なパラペット部分の重なる部分の隙間の大きさは5cmとし、その部分の水平パラペットの厚さを25cmとした。

サイドステップ護岸は、人が海に降りてゆく方向と波が遡上する方向が異なるように、人が海を横に見ながら階段を降りてゆくような構造になっている。また、階段の海側には鉛直壁を設け、波の一部をこの鉛直壁で反射させるとともに、階段部分が遊水部として機能するようにしている。前壁は強大な波力を受けることが予想されるために厚さを1mとした。階段部分の諸元は人間の通行のしやすさを考えて、1段の高さを20cm、1段の幅を30cmとした。この他、階段部分の幅や、前壁と前壁の隙間の幅は、一定として実験を行った。

うずまき護岸は、サイドステップ護岸と同様の発想で、人が海に降りてゆく方向と波が遡上する方向が異なるように護岸天端から海のほうへ降りる階段をらせん状に曲げたものである。階段の出口に当たるところ以外の護岸前面は、鉛直壁にして波の一部を反射させるとともに、階段部分が遊水部になるようにしている。また、階段から海への出口の部分に、5角柱を立てて入り口を絞り、進入する波のエネルギー損失を大きくするようにしている。なお、らせん階段部分や階段の勾配などの諸元は一定として実験した。

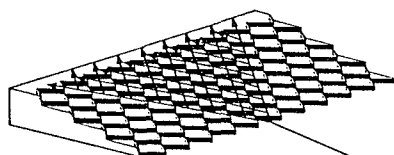
広天端幅護岸は、階段護岸の階段の途中に広い水平な踊り場を設けた構造をしている。広い水平な部分には、公園やボートハウス、バレーコートなどを整備して護岸そのものを多目的に利用することができる。以後、便宜上、沖側の階段部分を「前段部」、岸側の階段部分を「後段部」、前段部と後段部の間の広い水平部分を「中法部」と呼ぶことにする。この護岸では、中法部の天端幅 B と天端高 h_{c1} が越波流量に影響するものと予想されるため、これら2つのパラメーターを変化させて実験した。

3. 実験条件

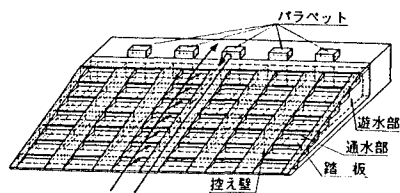
実験は2回に分けて実施され、1回目の実験では、複断面護岸と菱形階段護岸、水平スリット護岸、パラペット水平階段護岸、広天端幅護岸の模型を縮尺1/50で製作し、それぞれについて越波流量を測定した。2回目の実験は、菱形階段護岸と水平スリット護岸、サイドステップ護岸、うずまき護岸、広天端幅護岸の模型を縮尺1/25で製作し



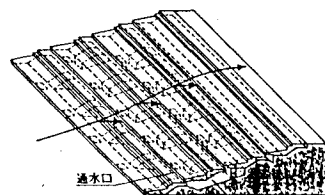
(a) 複断面護岸



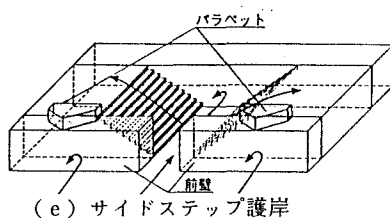
(b) 菱形階段護岸



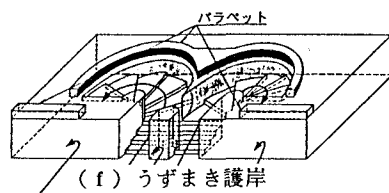
(c) 水平スリット護岸



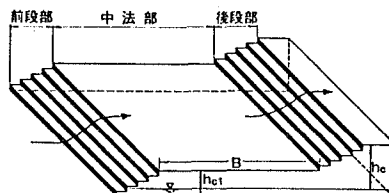
(d) パラペット水平階段護岸



(e) サイドステップ護岸



(f) うずまき護岸



(g) 広天端幅護岸

図-2 実験した護岸の構造

表-1 実験波諸元

波	H_0'/L_0	H_0' (m)	T_0 (s)	
1	0.012	5	16.4	実験 1 縮尺 1/50
2	0.036	7.5	12.0	
3	0.012	7.5	20.0	
4	0.036	10	13.4	
5	0.036	5	9.5	実験 2 縮尺 1/25
4	0.012	5	16.4	

て実施した。実験で用いた水路は当研究所の長さ40m、幅1.5mの水路で、これを仕切壁によって幅60cmと90cmの2つに仕切り、幅60cmのほうに護岸模型を設置した。護岸前面には勾配 $i=1/30$ の斜面模型を置き、護岸の前踵の水深 h は0とした。実験波は、風浪とうねり性の波の両方を対象とするために波形勾配 H_0'/L_0 として0.012と0.036の2種類を設定し、周波数スペクトルについては、合田(1987)が提案している修正Bretschneider-光易型のスペクトルを目標とした。現地換算した実験波の諸元は、表-1に示すとおりである。岩垣ら(1968)によると、越波実験においては模型縮尺による影響があり、実験波の周期が1s以下になると越波量が增大することが報告されている。表-1に示した有義波周期を模型換算

すると全て1.5s以上になるため、模型縮尺が実験結果に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

本実験で用いた造波装置は、造波板前面の水面波形を検出して水路内の模型からの反射波が造波板で再反射しないように造波板を制御するものである(平口ら、1988)。まず、護岸模型を設置する前に実験波の検定を行い、目標とした有義波高、有義波周期、スペクトルを有する波が造波されていることが確認してから模型を設置して越波流量を測定した。越波流量を測定しているときも、造波板前面に2本、護岸模型前面に1本の波高計を配置して、造波開始1分後から7分間水面波形を測定した。波高計の出力は、その場でサンプリング周期0.2sでA/D変換し、パソコンのフロッピーディスクに収録した。造波板前面における水面波形から合田ら(1976)の提案している方法によって入射分離計算を行ったところ、模型を設置した状態においても入射波高はほぼ目標値と一致した。また、護岸の越波量は、護岸を越波した水をシュートによって護岸背後設置した集水槽に集めて測定した。偶然性による実験結果のばらつきを小さくするために、同一の波浪条件に対して波連の異なる2つの波を造波して2回測定を行い、2回の越波量を平均して実験結果を整理した。

4. 実験結果

(1) 法面に粗度をつけたタイプの護岸の越波流量低減効果

実験で測定した越波量 Q を無次元化するために、 Q を測定時間と水路の幅で除して単位幅越波流量 q とし、さらに q を $\sqrt{2gH_0'}^3$ で除すことによって求めた無次元越波流量 q^* を計算した。図-3は、法面に粗度をつけたタイプの護岸である複断面護岸と菱形階段護岸について、無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係を示したものである。図中で直立護岸の越波流量を示す実線と点線は、著者の一人(高山ら、1982)が提案している越波流量算定式によって求めたものである。図-3によると法面に粗度をつけたタイプの護岸の越波流量は、相対天端高が小さな領域では直立護岸よりも大きくなり、相対天端高が大きな領域では直立護岸よりも小さくなる。これは、天端高が高くなると波が護岸の法面上を遡上する距離が長くなり、法面の粗度によって生じる波のエネルギーの損失がそれだけ大きくなるためと考えられる。また H_0'/L_0 が0.036の場合には、複断面護岸と菱形階段護岸の越波流量は、 $h_c/H_0' < 0.4$ において直立護岸とほぼ等しく、 $h_c/H_0' > 0.4$ において直立護岸の場合よりも小さくなる。これに対して H_0'/L_0 が0.012の場合の複断面護岸と菱形階段護岸の越波流量は、 $h_c/H_0' < 0.6$ においては直立護岸の越波流量の4倍程度になり、 $h_c/H_0' > 0.6$ において直立護岸とほぼ等しくなる。このように、護岸法面に粗度をつけた菱形階段護岸や複断面護岸では、波形勾配が大きな波に対しては、比較的小さな天端高から越波流量低減効果が現れるのに対して、波形勾配が小さな波に対しては、天端高が沖波波高の70%以上でないと越波流量低減効果が現れない。この原因については明らかにすることができなかった。

菱形階段護岸も複断面護岸も傾斜護岸に粗度をつけることを意図して考案したが、粗度の大きさや粗度と越波流量の関係については、こ

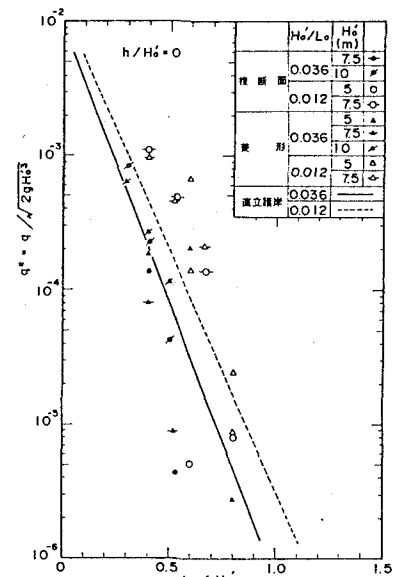


図-3 法面に粗度をつけたタイプの護岸の無次元越波流量と相対天端高

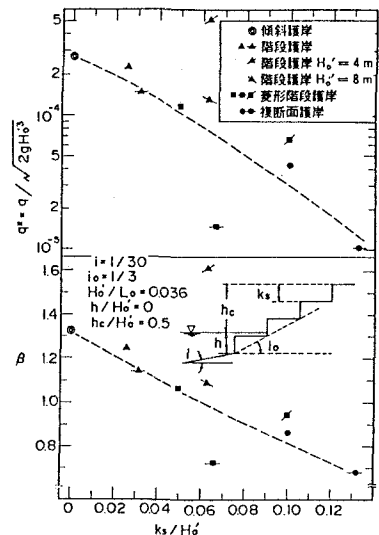


図-4 無次元越波流量及び換算天端高係数と粗度の大きさの関係

れまであまり検討されていない。そこで本研究では、合田・岸良(1976)や石原ら(1957)の研究を参考にして段高あるいは突起の高さ k_a と H_0' の比を粗度の大きさと定義することにした。図-4は、このように定義した粗度の大きさ k_a/H_0' と越波流量 q^* 、換算天端高係数 β の関係を示したものである。図中には、著者の一人(高山ら、1982)によって紹介されている運輸省第一港湾建設局による階段護岸の越波実験の結果もプロットした。この図によると、護岸の天端高が同一であっても法面の粗度の大きさが增大することによって越波流量と換算天端高係数が低減していることがわかる。また、護岸の構造が階段護岸、菱形階段護岸、複断面護岸のいずれの場合においても、粗度の大きさと越波流量、換算天端高係数の関係はほぼ1本の曲線上にプロットされる。このことは、粗度の大きさを k_a/H_0' で定義することにより汎用性があることを示唆している。但し、図-4に示した k_a/H_0' と β の関係は、護岸前面の海底勾配 i や波形勾配 H_0'/L_0 、護岸の法面の勾配 i_0 、護岸の相対天端高 h_c/H_0' などの影響を受けることが予想される。しかし、おおよその目安としては、傾斜護岸に粗度をつけて越波流量の低減を図るには k_a/H_0' を0.06以上にするのがよいと考えられる。

(2) 遊水部を設けた形式の護岸の越波流量低減効果

図-5は、遊水部を設けた形式の護岸である水平スリット護岸、パラペット水平階段護岸、サイドステップ護岸、うずまき護岸について、無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係を示したものである。この図によると、遊水部を設けた護岸の越波流量は、相対天端高が小さな領域では直立護岸とほぼ一致するが若干大きくなり、相対天端高が大きな領域では、直立護岸の越波流量よりも小さくなる傾向が認められる。これは、天端高が小さいときには遊水部の中がすぐに水で満たされてしまうため、遊水部の効果が発揮されないためだと考えられる。また、波形勾配による越波流量低減効果の相違については、図-3に示した護岸の裏面に粗度をつけたタイプの護岸と同様に、波形勾配が大きいときのほうが越波流量低減効果が大きくなっている。ただし、波形勾配が0.012の場合において、法面に粗度をつけたタイプの護岸では直立護岸よりも越波流量が小さくなることはなかったのに対して、遊水部を有するタイプの護岸では、相対天端高が0.6以上において直立護岸よりも越波流量が小さくなっている。さらに図-5を仔細にみると、同一の波形勾配や天端高でも護岸の形式によって越波流量が異なっている。例えば、 $h_c/H_0'=0.5$ 、 $H_0'/L_0=0.036$ 、 $H_0'=10\text{m}$ のときの水平スリット護岸とパラペット水平階段護岸の越波流量を比較すると、後者は前者の約3倍の大きさになっている。

このような護岸形式による越波流量低減効果の相違が生じる原因としては、まず、各護岸形式によって遊水部の容積が異なることが考えられる。そこで、遊水部の容積と越波流量低減効果の関係について検討した。越波流量低減効果のパラメーターとしては、実験で得られた越波流量と同一の越波流量を与える直立護岸の天端高を図-5から求め、この直立護岸の天端高に対するその護岸の天端高の比 β (換算天端高係数)を用いた。また、遊水部の容積については、次のようにして無次元化した。まず、汀線上に天端高0の護岸をおいたと仮定したときの越波流量を著者の一人が提案した越波流量算定式(高山ら、1982)によって計算し、この越波流量と有義波周期の積 Q_0 を求めた。すなわち Q_0 は、汀線にうちあがる波の一波あたりの平均的な体積と考えることができる。次に、護岸の単位幅当たりの遊水部容積 V_v' を求め、これと Q_0 との比 V_v'/Q_0 を無次元化した護岸遊水部の容積と定義した。図-6は、実験結果から求めた換算天端高係数 β と無次元化した護岸遊水部容積 V_v'/Q_0 の関係を示している。この図によると、全体的な傾向としては右下がりになっており、無次元化した護岸遊水部の容積が増えるにしたがって換算天端高係数が低下し、越波流量低減効果が大きくなることがわかる。また、図-6の中で $H_0'/L_0=0.012$ のときの点は、 $H_0'/L_0=0.036$ のときの点よりも上に分布しており、遊水部を有するタイプの護岸においても波形勾配が大きいときのほうが越波流量低減効果が大きいことがわかる。図の中でサイドステップ護岸やうずまき護岸を示す点はばらつきが小さく、両者に共通する β と V_v'/Q_0 の関係を見いだすことができそうである。しかし、図の中で水平スリット護岸やパラペット

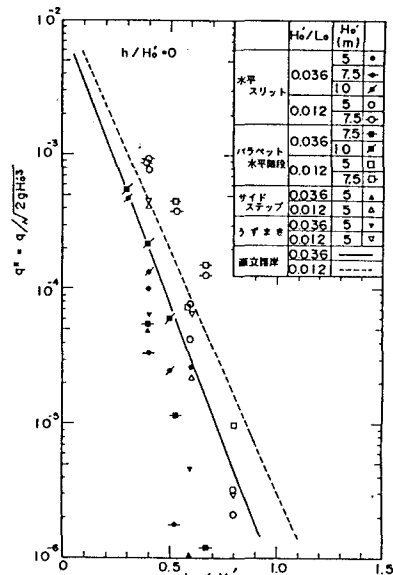


図-5 遊水部を設けた形式の護岸の無次元越波流量と相対天端高

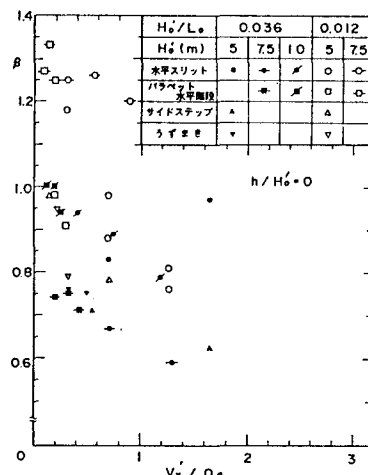


図-6 無次元化した遊水部の体積と換算天端高係数の関係

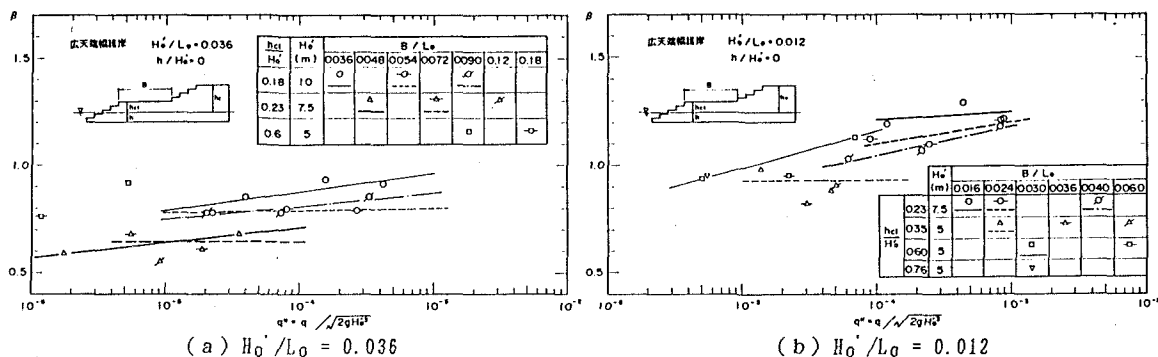


図-7 広天端幅護岸の無次元越波流量と换算天端高係数の関係

水平階段護岸を示す点はばらつきが大きく、統一的な β と V_v'/Q_0 の関係を見いだすことは難しい。これは、遊水部を設けたことによって生ずる波のエネルギー損失が、単に遊水部の容積だけではなく、遊水部の中の構造や水が遊水部に流入する部分の大きさなどによっても異なるためと思われる。以上のように遊水部の容積と越波流量低減効果の関係について検討したが、定量的な関係を見いだすことはできなかった。ただし定性的には遊水部の容積が増すことによって越波流量低減効果も増大しており、図-6 から $V_v'/Q_0 > 1$ であれば $\beta < 1$ となって直立護岸よりも越波流量を低減できるようである。

(3) 広天端幅護岸の越波流量低減効果

図-7 (a), (b) は、広天端幅護岸の换算天端高係数 β と無次元越波流量の関係を示したものである。 β は、実験結果を図-3 に示すように相対天端高と無次元越波流量のグラフにプロットし、このグラフから求められる同一越波流量を与える直立護岸の天端高と広天端幅護岸の天端高の比をとって計算した。広天端幅護岸の場合には中法部天端幅 B と中法部の天端高 h_{c1} が越波流量に影響すると予想されるので、これらを沖波波長 l_0 と沖波波高 H_0' でそれぞれ除すことによって無次元化して整理した。また、図中に示した直線は、プロットされた点にもとづいてそれぞれの条件における β と q^* の平均的な関係を示したものである。図-7 (a) によると、 $H_0'/L_0 = 0.036$ の場合にはどの点も $\beta < 1$ となり、天端高低減効果が認められる。中法部の天端幅による β の変化についてみると、 B/L_0 が大きくなると β は小さくなる傾向がみられるが、その影響は比較的小さい。中法部の天端高 h_{c1}/H_0' による β の変化についてみると、 $h_{c1}/H_0' = 0.18$ と 0.6 の場合の β

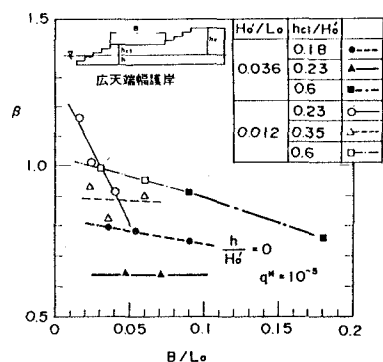


図-8 中法部の天端幅と换算天端高係数の関係

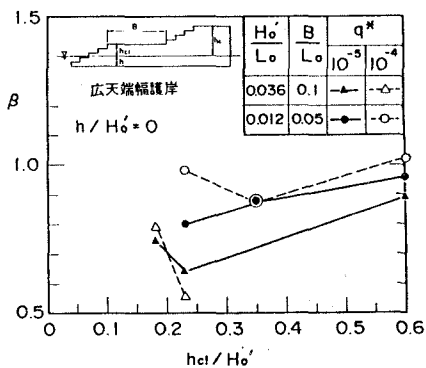


図-9 中法部の天端高と换算天端高係数の関係

は 0.8 とほぼ一致するのに対して、 $h_{c1}/H_0' = 0.23$ の場合の β は、 0.6 から 0.7 程度と最小の値を示している。次に、図-7 (b) によると $H_0'/L_0 = 0.012$ の場合の β は、 $H_0'/L_0 = 0.036$ の場合よりも全体的に大きくなっており、波長の長い波に対しては広天端幅護岸の越波流量低減効果は小さいことがわかる。特に、中法部の天端高と沖波波高の比が $h_{c1}/H_0' = 0.23$ の場合の β は、 1.0 から 1.1 程度となって通常の階段護岸と同じ程度の値を示している。

広天端幅護岸の越波流量低減効果に対する中法部の天端幅の影響を検討するために、図-7 (a), (b) において β と q^* の平均的な関係を表す直線上で $q^* = 10^{-5}$ における β の値を求めた。このようにして求めた β の値と B/L_0 の関係を図-8 に示す。この図によると、 B/L_0 が小さな領域では β は急激に減少するが、 B/L_0 ある程度大きくなって β が 1 よりも小さくなると β の減少は緩やかになることがわかる。図-8 から $\beta < 1$ となる大まかな目安をつけると、 $H_0'/L_0 = 0.012$ の時に $B/L_0 > 0.05$ 、 $H_0'/L_0 = 0.036$ の時に $B/L_0 > 0.1$ と思われる。天端幅護岸の越波流量減少効果は、波が中法部に乗り上げるときに生じる水塊内部の乱れによるエネルギー損失と、波が中法部を走るときに生じる底面摩擦によるエネルギー損失によるものと考えられる。図-8 の関係から考えると、中法部を波が進行するときの底面摩擦によるエネルギー損失は比較的小さいと推測される。すなわち、広天端幅護岸の越波流量低減効果は、波が中法部に乗り上げるときに生じる水塊内部の乱れによるエネルギー損失によるものと考えられる。

したがって、広天端幅護岸の越波流量低減効果に関して中法部の天端高 h_{c1}/H_0' が重要となることが予想され

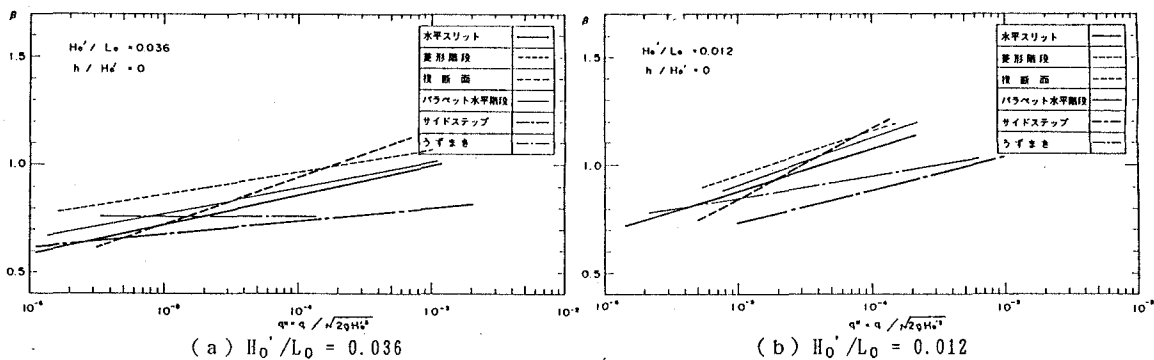


図-10 各護岸形式の越波流量低減効果の比較

る。そこで、図-8に示すように β と B/L_0 の平均的な関係を示す直線を引き、この直線から $H_0'/L_0=0.036$ の場合には $B/L_0=0.1$ 、 $H_0'/L_0=0.036$ の場合には $B/L_0=0.05$ における β の値をそれぞれ読みとって β と中法部天端高 h_{c1}/H_0' の関係を求めた。この関係を図-9に示す。図-9によると、 $h_{c1}/H_0'=0.2\sim0.4$ の間で β は最小となっている。このようになる原因については明かでないが、中法部の天端を上げると乗り上げる波のエネルギーは小さくなるが、全体の天端高が変わらなければ後段部の階段の高さはそれだけ低くなるため、乗り上げた波が越波しやすくなると考えられる。逆に中法部の天端を下げると後段部の階段の高さはそれだけ高くなるが、中法部に乗り上げる波のエネルギーが大きくなるため、越波量が增大すると考えられる。

5. 考察

本研究で考案した広天端幅護岸以外の護岸形式の越波流量低減効果を比較するために、それぞれについて、図-7のような換算天端高係数 β と無次元越波流量 q^* の関係を求めた。図-10は、各護岸の β と q^* の関係を重ね合わせたものである。これによると、もっとも天端高低減効果が大きいのはサイドステップ護岸である。特に、 $H_0'/L_0=0.012$ の場合には、他の形式よりも β が0.2ほど小さくなる。したがってサイドステップ護岸は、図-1(b)，(d)に示したような護岸の天端を下げて景観を良くしたい場合や、空港周囲の護岸のように護岸の天端を極力下げたい場合に適していると考えられる。また、本文には示していないが、護岸前面に設置した波高計で測定した水面波形によってサーフビートの強さを求めて護岸形式による比較を行ったところ、水平スリット護岸の場合がもっとも弱かった。護岸前面に砂浜がある場合、サーフビートの強さが弱い場合に海浜が安定すると言われている。図-10によると、水平スリット護岸はサイドステップ護岸に次いで越波流量低減効果がある。したがって、水平スリット護岸は、図-1(a)，(c)に示したように前面に砂浜がある場合に適していると考えられる。菱形階段護岸や複断面護岸は、構造が簡単であるので建設費用が他の形式よりも安くなると思われる。図-10(a)に示すように $H_0'/L_0=0.036$ の場合には、これらの護岸の天端高は直立護岸よりも低くすることができる。したがって、菱形階段護岸や複断面護岸は、日本海側の海岸のように来襲する波の波形勾配が大きな地点に適していると考えられる。

6. あとがき

本研究によって、以下のことが明らかになった。(1) 沖波の波形勾配が大きい場合、傾斜護岸の法面に粗度をつけることによって越波流量を低減できる。そして、護岸の階段の段高あるいは突起の高さと沖波波高の比が大きくなるほど越波流量が低減する。(2) 護岸に遊水部を設けて越波流量を低減させる場合、遊水部の大きさが大きいほど越波流量を低減できる。(3) 階段護岸の斜面の途中に広い踊り場を設けて越波流量を低減する場合、踊り場の高さを沖波波高の0.2から0.4程度にするのがよい。また、踊り場の天端幅と沖波波長の比は、波形勾配が0.012の場合には0.05、波形勾配が0.036の場合には0.1程度にするのがよい。(4) 今回考案した護岸形式の中ではサイドステップ護岸がもっとも天端高を下げるができる。また、護岸前面に砂浜がある場合には水平スリット護岸が適している。沖波の波長が大きい場合には、菱形階段護岸でも直立護岸よりも天端高を下げるができる。

参考文献

- 1) 石原藤次郎・岩垣雄一・三井宏(1957), 4) 合田良実(1987); 数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第34回海岸工学講演会講演集, PP. 131~135
- 2) 岩垣雄一・井上雅夫・金田孝之(1968), 5) 高田彰(1967); 不透過壁面の線形および透過斜面の空けきが越波量におよぼす影響について, 第14回海岸工学講演会講演集, PP. 129~138
- 3) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊池治(1976); 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料, No. 248
- 7) 高山知司・池田直太・立石義博(1991); 新しい護岸構造による越波流量低減効果, 港湾技研資料, (投稿予定)
- 8) 服部典節・佐藤昭二(1973); 前面に遊歩道をもつ海浜護岸について-越波特性からの断面形の検討, 港湾技術研究所報告第12巻, 第3号, pp. 71-98
- 9) 平口博丸・鹿島遼一・川口隆(1988); 水面波形制御方式による無反射造波機の不規則波実験への適用性, 第35回海岸工学講演会論文集, PP. 30-34